



Analisis tahap kebolehruntuhan tanah dengan menggunakan skala ROM: Kajian di kampus Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi

Mokhtar Jaafar¹, Abdul Halim Yusof¹, Asiah Yahaya¹

¹Program Geografi, Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

Correspondence: Mokhtar Jaafar (email: mokhtar@eoc.ukm.my)

Abstrak

Runtuhan tanah merupakan suatu proses geomorfologi yang biasa berlaku di kawasan beriklim tropika. Sehubungan itu, satu kajian telah dilakukan bagi menentukan tahap kebolehruntuhan tanah di cerun-cerun bermasalah di sekitar kampus Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi. Sebanyak 12 lokasi cerun bermasalah terlibat dalam kajian ini. Skala ROM digunakan sebagai asas dalam menentukan tahap kebolehruntuhan tanah cerun bermasalah di kampus UKM, Bangi. Hasil kajian menunjukkan empat (P3, P6, P8 dan P9) lokasi cerun mempunyai tahap kebolehruntuhan tanah yang Kritikal, tiga (P4, P6 dan P7) dikategorikan sebagai Tinggi, tiga lagi Sederhana (P2, P5 dan P12) dan dua (P1 dan P11) sebagai Rendah. Komposisi tekstur tanah yang didominasi oleh pasir dan kelodak didapati sangat mempengaruhi tahap kebolehruntuhan tanah di setiap lokasi persampelan. Sehubungan itu, beberapa cerun bermasalah di sekitar kawasan kampus yang belum dimitigasi perlu dipulihkan segera bagi mengelak kemungkinan kejadian runtuhan tanah berskala besar daripada berlaku pada masa hadapan.

Katakunci: cerun bermasalah, proses geomorfologi, runtuhan tanah, skala ROM, tekstur tanah, tindakan mitigasi

An analysis of landslide level using the ROM scale: The case of the Universiti Kebangsaan Malaysia Bangi campus

Abstract

Landslide is a common geomorphological process in the tropic area and managing it is a constant challenge. To understand further the nature of this challenge, a study has been conducted to determine landslide levels at 12 problematic slope locations around the Universiti Kebangsaan Malaysia Bangi. A ROM Scale was used as a reference in determining the landslide level at the problematic slopes. The results showed that four (P3, P6, P8 and P9) slope locations could be categorised under critical level, three (P4, P6 and P7) under high, three (P2, P5 dan P12) under moderate, and two (P1 and P11) under low. The composition of soil texture was dominated by sand and silts which significantly influenced the level of the landslide at each sampling location. This means that several problematic slopes that have not yet been mitigated around the campus should be immediately rehabilitated to avoid any possibility of large scale landslide occurrence in the future.

Keywords: geomorphology process, landslide, mitigation measures, problematic slopes, ROM scale, soil texture

Pengenalan

Kejadian tanah runtuh merupakan suatu fenomena biasa bagi mana-mana negara tropika, dan tidak terkecuali Malaysia. Iklim Khatulistiwa yang dialami Malaysia menyumbang kepada taburan hujan tahunan yang tinggi dengan purata sebanyak 2,400 mm setahun. Jumlah hujan yang banyak disertai dengan intensiti hujan yang tinggi menjadi agen penggerak utama dalam memungkinkan kejadian tanah runtuh. Secara umumnya, runtuh tanah dikaitkan dengan pergerakan batuan, debris dan kelompok tanah menuruni cerun (Cruden, 1991). Runtuhan tanah mudah berlaku pada cerun yang curam dan bahan cerun yang mempunyai ikatan kumin yang lemah. Walau bagaimanapun, kehadiran hujan pada magnitud yang tinggi boleh menjadi faktor pendorong yang sangat signifikan sehingga memungkinkan kejadian tanah runtuh berskala besar. Menurut Bujang *et al.* (2008), jumlah hujan dan suhu tahunan yang tinggi akan menggalakkan proses luluhawa sehingga mampu menerobos 100 m ke dalam tanah, dan seterusnya mampu menghasilkan kejadian tanah runtuh berskala besar.

Kejadian tanah runtuh adalah sebahagian daripada petunjuk kepada kegagalan sesebuah cerun. Ibrahim (1985/86) menghuraikan beberapa faktor kegagalan cerun yang dapat dikaitkan dengan persekitaran Malaysia. Faktor tersebut adalah (i) kejadian hujan lebat bagi suatu tempoh yang lama, (ii) perubahan sifat bahan bumi melalui proses geomorfologi, (iii) ketakselajaran satah batuan, dan (iv) hakisan tanah oleh tindakan air hujan dan air larian. Bujang *et al.* (2008) menambah bahawa kebanyakan kejadian tanah runtuh di Malaysia berlaku dari September hingga Januari kerana jumlah dan kejadian hujan yang dicatatkan di kebanyakan tempat di negara ini adalah tinggi dan kerap berlaku dalam tempoh tersebut. Ibrahim (1985/86) dan Bujang *et al.* (2008) juga sependapat bahawa kebanyakan kejadian tanah runtuh di Malaysia berlaku di cerun potong, sama ada runtuh tanah mahupun runtuh batuan.

Dalam konteks Malaysia, kejadian tanah runtuh sering dikaitkan dengan faktor pembangunan tanah yang pesat. Pembangunan tanah di Malaysia kebiasaannya melibatkan pertukaran kawasan litupan hutan kepada pembangunan pertanian, perbandaran, perindustrian, infrastruktur dan perumahan. Pembangunan sedemikian sering melibatkan potongan cerun dan salahurus cerun yang bersifat tidak mesra alam sehingga memungkinkan berlaku pergerakan jisim yang boleh mengakibatkan kejadian tanah runtuh.

Dalam konteks kampus Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, beberapa siri kejadian tanah runtuh pelbagai saiz telah dikenalpasti. Sebahagian daripada cerun-cerun yang mengalami runtuh tanah itu telah dibaikpulih melalui pendekatan mitigasi yang bersesuaian dengan keadaan topografi cerun manakala sebahagian lagi terbiar tanpa sebarang tindakan mitigasi.

Ibrahim (1987) melaporkan kegagalan cerun yang berlaku di kampus UKM, Bangi, amat berkait dengan tiga faktor penting, iaitu (i) kelemahan aspek kejuruteraan bahan cerun berkait dengan tahap erodibiliti tanah yang rendah, (ii) berlaku pengumpulan air bawah tanah secara berlebihan bagi suatu tempoh masa yang panjang, dan (iii) sangat kurang langkah mitigasi terhadap cerun dan permukaan cerun sehingga menggalakkan kejadian hakisan tanah. Beliau juga telah mengenalpasti 75 lokasi cerun buatan di kampus UKM, Bangi, yang dikategorikan sebagai cerun yang gagal secara geomorfologinya akibat proses gelinciran dan geluncuran tanah.

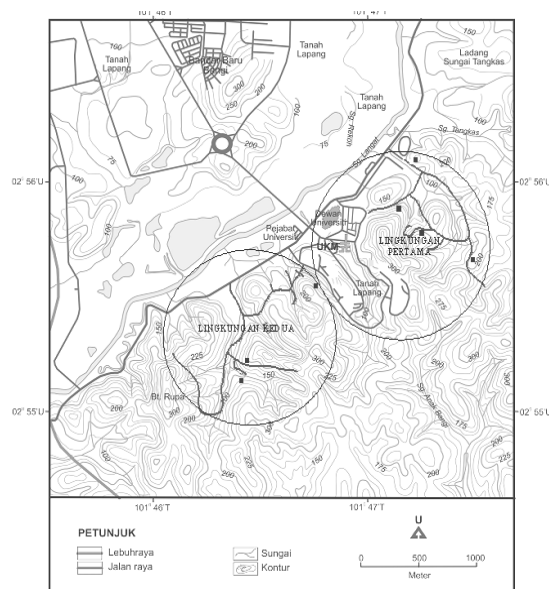
Mengambil kira pernyataan Ibrahim (1987) bahawa terdapat begitu banyak lokasi cerun di sekitar kampus UKM, Bangi yang berpotensi runtuh maka kami memikirkan perlu dilakukan kajian untuk menentukan tahap kebolehruntuhan tanah bagi cerun-cerun yang ada. Tambahan pula, situasi topografi kampus UKM, Bangi, yang berbukit dan beberapa siri kejadian tanah runtuh yang berlaku di sekitarnya memerlukan suatu dokumentasi ciri-ciri fizikal tanah di kawasan runtuh tanah dilakukan. Melalui dokumentasi tersebut, analisis saintifik dilakukan untuk menentukan tahap kebolehruntuhan tanah di cerun-cerun tersebut dan hasilnya boleh digunakan sebagai panduan dalam pengurusan cerun di kampus UKM, Bangi.

Kawasan kajian

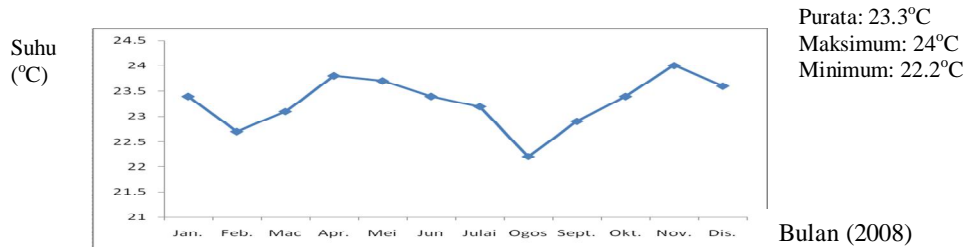
Kajian dilakukan di kampus induk UKM, Bangi. Secara terperinci, kajian tertumpu pada cerun bermasalah yang terdapat di sekitar kawasan kampus. Cerun bermasalah merujuk pada cerun yang menunjukkan tanda-tanda kejadian hakisan tanah dan cerun yang gagal, iaitu cerun yang telah dan sedang mengalami runtuh tanah. Sebagai tambahan, cerun yang belum runtuh tetapi terdapat petunjuk potensi akan berlaku runtuh tanah, iaitu berdasarkan petunjuk kegagalan cerun yang diperhatikan di lapangan, turut terlibat dalam kajian ini. Rajah 1 menunjukkan kedudukan kawasan kajian di sekitar kampus UKM, Bangi.

Letakan kampus UKM, Bangi, dalam lingkungan zon tropika lembab dengan suhu hampir seragam sepanjang tahun dan jumlah penerimaan hujan tahunan yang tinggi menjadikannya mudah terdedah kepada tindakan agen geomorfologi yang berupaya meningkatkan potensi kejadian runtuh tanah di kawasan bercerun yang terdapat dalam lingkungan kampus. Rajah 2 menunjukkan pola aliran suhu bulanan yang direkod di Stesen Kajicuaca UKM sepanjang tahun 2008, manakala Rajah 3 pula menunjukkan pola taburan jumlah hujan bulanan yang diterima oleh stesen yang sama dan pada tahun yang sama. Purata suhu tahunan yang direkodkan adalah 23.3°C manakala purata jumlah hujan tahunan adalah $175.9 \text{ mm thn}^{-1}$. Pola aliran suhu dan jumlah hujan yang diterima oleh stesen ini secara umumnya tidak terlalu berbeza dengan penerimaan suhu dan jumlah hujan bulanan yang direkodkan di kebanyakan stesen kajicuaca di Negeri Selangor. Pola suhu dan jumlah hujan sedemikian berpotensi mempengaruhi proses luluhawa dan hakisan tanah serta menggalakkan pergerakan jisim di cerun-cerun sekitar UKM.

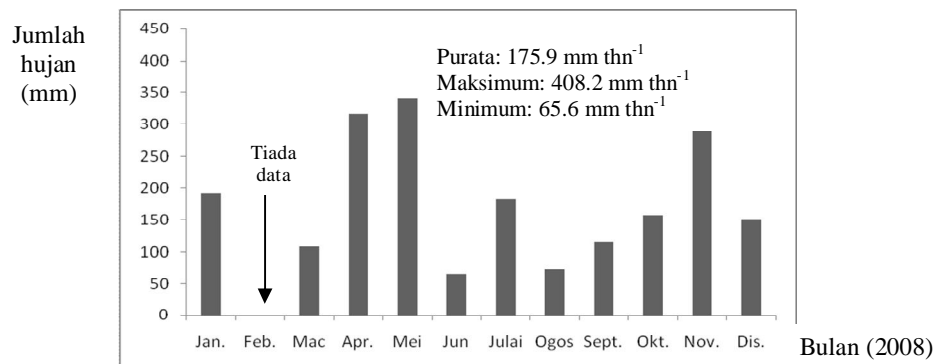
Menurut Tjia (1972), kawasan Bangi terdiri daripada lapisan batuan yang membentuk siklin dan antisisiklin manakala Ibrahim (1984) pula menyatakan struktur geologi kawasan Bangi terbahagi kepada tiga, iaitu aluvium, granit dan metasedimen. Dalam konteks kawasan kampus UKM, Bangi, batuan metasedimen adalah dominan. Mohd. Rasik dan Ibrahim (1984) menambah bahawa batu metasedimen kampus UKM, Bangi, terdiri daripada jenis meta-argilit yang berbutiran halus dan meta-arenit yang berbutiran kasar. Gabungan kedua-dua jenis batuan ini mempengaruhi tahap erodibiliti bahan yang kurang daya lekitan dan berpotensi terlerai dengan mudah sekiranya agen geomorfologi dapat bertindak ke atas permukaan tanah dan bahagian sub lapisan permukaan tanah. Ibrahim (1984) juga menegaskan hampir semua kawasan cerun di kampus UKM, Bangi, berada pada situasi berpotensi untuk gagal, sama ada disebabkan oleh proses hakisan tanah mahupun pergerakan jisim.



Rajah 1. Kawasan kajian-Kampus UKM, Bangi



Rajah 2. Aliran suhu bulanan yang direkodkan di Stesen Kajicuaca UKM, Bangi



Rajah 3. Aliran jumlah hujan bulanan yang direkodkan di Stesen Kajicuaca UKM, Bangi

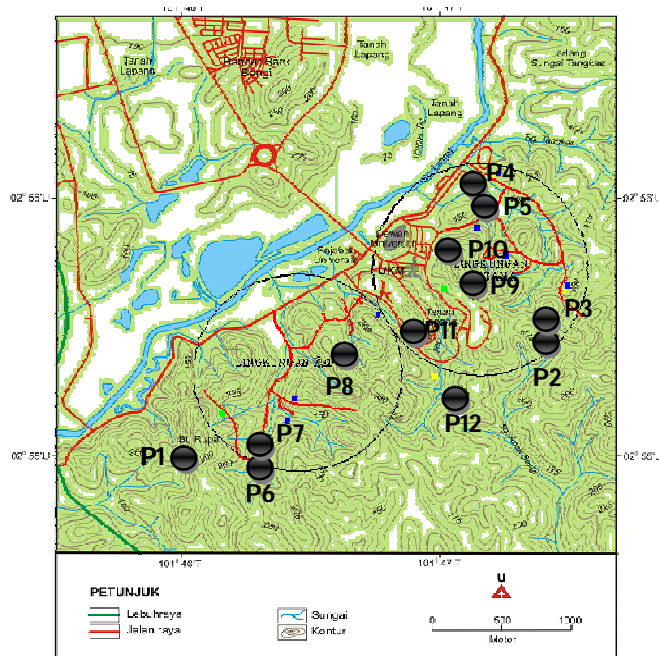
Potensi kegagalan cerun di kampus UKM, Bangi, yang boleh menghasilkan runtuh tanah boleh dikaitkan juga dengan sifat tanah. Jenis tanah di kawasan kampus UKM, Bangi, adalah daripada siri Munchong-Seremban yang tergolong dalam kumpulan tropeptik haplortoks. Tanah ini mempunyai ciri fizikal yang rapuh, mudah pecah dan mudah diserapi air (Wong, 1970). Menurut Othman dan Shamsuddin (1982), tanah jenis ini mengandungi kandungan liat yang tinggi, iaitu 42.5%. Gabungan daripada ciri-ciri tersebut memberi petunjuk awal akan kerapuhan tanah di cerun-cerun sekitar kampus UKM, Bangi dan amat berpotensi menyebabkan kejadian tanah runtuh sebagaimana dinyatakan oleh Ibrahim (1984).

Metodologi

Penjelasan dalam bahagian ini dibahagikan kepada empat peringkat. Peringkat pertama adalah mengenai pemilihan lokasi persampelan tanah. Sehubungan itu, pemerhatian awal di lapangan telah dilakukan di sekitar cerun yang terdapat di kampus UKM, Bangi, pada Ogos 2009. Proses pemerhatian ini bertujuan untuk mengenalpasti lokasi cerun yang mempunyai petunjuk bahawa cerun tersebut telah dan sedang mengalami runtuh tanah. Dalam hal ini, setiap cerun runtuh, sama ada yang belum, telah dan sedang dimitigasikan diambilkira dalam membuat pertimbangan sebagai cerun persampelan yang sesuai. Faktor saiz runtuh juga turut diberi pertimbangan. Hasilnya, sebanyak 12 cerun telah dikenalpasti sesuai sebagai cerun persampelan dan taburannya ditunjukkan dalam Rajah 4.

Peringkat kedua adalah proses pengambilan sampel tanah di 12 lokasi cerun yang telah ditetapkan pada peringkat pertama. Pengambilan sampel tanah dilakukan dalam keadaan cuaca normal, iaitu tanpa kehadiran hujan dan tanpa impak daripada kejadian hujan sebelumnya. Sampel tanah diambil di bahagian puncak runtuh tanah bagi mewakili kelompok tanah yang runtuh dan tanah kawasan sekitarnya. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan *hand auger* pada kedalaman 30–50 cm. Ketika persampelan tanah dilakukan, ciri-ciri fizikal cerun

yang lain turut diukur, iaitu kecuraman cerun, saiz runtuhan (kelebaran tapak runtuhan sahaja), kelembapan tanah dan anggaran litupan tumbuhan pada kelompok tanah runtuh.



Rajah 4. Lokasi titik persampelan di kampus UKM, Bangi

Pada peringkat ketiga, semua sampel tanah dikering-udarkan di dalam makmal. Sampel tanah yang telah kering diayak secara manual bagi mendapatkan sampel tanah bersaiz kurang 1 mm untuk digunakan dalam ujian penentuan tekstur tanah melalui ujian pipet. Hasil daripada penentuan tekstur tanah melalui ujian pipet akan dibandingkan peratusan kandungan pasir-kelodak-liat berpandu pada segitiga tekstur tanah. Dapatan ini akan digunakan untuk mentafsir tahap erodibiliti tanah daripada 12 lokasi persampelan yang terlibat. Walau bagaimanapun, bagi menentukan komposisi saiz partikel berdasarkan kaedah ayakan, saiz ayakan dibahagikan kepada tiga bahagian, iaitu pasir (1 mm), kelodak (0.06 mm) dan liat (*pan*).

Seterusnya pada peringkat keempat, dapatan daripada ujian pipet akan digunakan bagi menentukan tahap kebolehruntuhan tanah menggunakan Skala ROM. Skala ROM dihasilkan oleh Roslan dan Mazidah (Roslan & Zulkifli, 2004) setelah melakukan pengubahsuaian terhadap rumus Bouyancos. Skala ROM memberi penekanan yang lebih ke atas fungsi kandungan tanah liat dalam tanah di mana kandungan ini berupaya memegang kandungan air lebih banyak dan mempunyai tahap rentan yang tinggi terhadap tindakan titisan hujan dan air larian permukaan. Tanah liat berupaya mengikat kumin-kumin tanah dengan utuh menjadikannya lebih stabil berbanding dengan tanah pasir dan tanah kelodak.

Pengiraan nilai kebolehruntuhan tanah yang bersandarkan kepada komposisi pasir-kelodak-liat mengikut Skala ROM dilakukan seperti rumus berikut:

$$EI_{ROM} = \frac{\% \text{ pasir} + \% \text{ kelodak}}{2 (\% \text{ liat})}$$

Berdasarkan nilai kiraan yang diperolehi daripada rumus tersebut, tahap kebolehruntuhan tanah dikategorikan kepada empat seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Rumus ini memberi penekanan yang lebih tinggi kepada fungsi tanah liat secara hasil darab 2. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada perenggan di atas, kandungan liat yang tinggi dalam tanah berupaya

menguatkan ikatan kumin-kumin tanah dan secara tidak langsung merendahkan potensi tanah daripada dihakis atau mengalami runtuh tanah.

Jadual 1. Kategori tahap kebolehruntuhan tanah mengikut Skala ROM

Skala ROM	Tahap kebolehruntuhan
< 1.5	Rendah
1.5 – 4.0	Sederhana
4.0 – 8.0	Tinggi
> 8.0	Kritikal

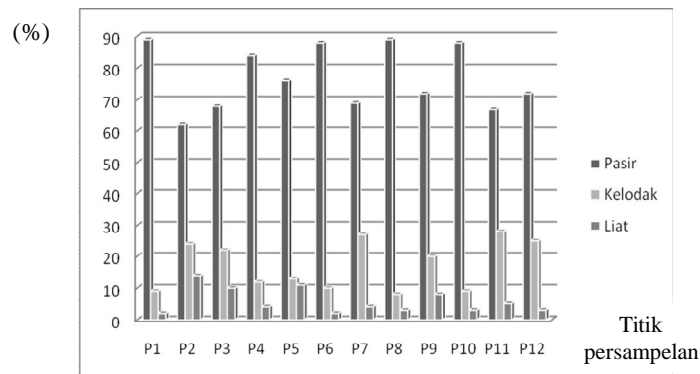
Sumber: Roslan *et al.* (2007)

Hasil kajian dan perbincangan

(i) Komposisi saiz partikel tanah berdasarkan ujian ayakan

Berdasarkan ujian saiz partikel melalui kaedah ayakan, adalah jelas semua sampel tanah mengandungi komponen pasir yang tinggi sebagaimana ditunjukkan dalam Rajah 5. Peratusan komponen pasir di semua titik persampelan melebihi 60%. Lima titik persampelan, iaitu P1, P4, P6, P8 dan P10 mencatatkan peratusan partikel pasir melebihi 80%.

Secara keseluruhannya, partikel liat adalah partikel tanah yang paling kurang di semua titik persampelan berbanding partikel pasir dan kelodak. Nilai purata kandungan tanah liat di 12 lokasi persampelan hanyalah 5.83% sahaja dengan peratusan maksimum hanya 15%, iaitu di titik



Rajah 5. Peratusan saiz partikel tanah berdasarkan ujian ayakan

persampelan P2. Kurangnya kandungan liat dalam kelompok tanah di cerun-cerun persampelan mempunyai kaitan dengan sifat batuan dan jenis tanah di kawasan kampus UKM, Bangi yang terdiri daripada batuan metasedimen dan tanah Munchong-Seremban. Gabungan kedua-dua aspek ini menjadi petunjuk kepada tahap kerapuhan tanah di kawasan kajian. Ini kerana batuan metasedimen yang didominasi oleh filit berbutiran halus daripada mineral kuartza, krolit dan muskovit adalah mudah terluluhawa (Ibrahim, 1984) manakala tanah Munchong-Seremban mempunyai ciri yang rapuh dan mudah diresapi air (Wong, 1970) serta saiz agregat kumin yang kasar (1.42 mm) menzahirkan ikatan kumin yang longgar (Othman & Shamsuddin, 1982). Semua ciri yang dijelaskan di atas menjadi sebahagian daripada punca kepada masalah kegagalan cerun di kampus UKM, Bangi.

(ii) Jenis tanah berdasarkan ujian tekstur tanah

Hasil ujian pipet bagi menentukan peratusan komposisi tanah daripada sampel tanah bersaiz kurang 1 mm ditunjukkan dalam Jadual 2. Lima daripada sampel tanah mencatatkan kandungan pasir melebihi 50 peratus, iaitu sampel P5, P7, P10, P11 dan P12. Kandungan pasir tertinggi direkodkan pada sampel tanah P7, iaitu 68 peratus. Manakala lima sampel tanah yang lain (P3, P4, P6, P8 dan P9) mencatatkan kandungan kelodak melebihi kandungan pasir dan liat, iaitu sekitar

49-51 peratus. Sesuatu yang jelas daripada ujian pipet ini mengenai tekstur tanah di 12 titik persampelan adalah kandungan tanah pasir yang tinggi dan kandungan tanah liat yang rendah. Dapatan ini menguatkan lagi pandangan terhadap kerapuhan tahap erodibiliti tanah di cerun-cerun sekitar kampus UKM, Bangi.

(iii) *Tahap kebolehruntuhan tanah berdasarkan Skala ROM*

Hasil ujian pipet digunakan ke dalam rumus Skala ROM bagi menentukan tahap kebolehruntuhan tanah di setiap titik persampelan dan hasilnya ditunjukkan dalam Jadual 3. Empat lokasi titik persampelan (P3, P6, P8 dan P9) mencatatkan tahap erodibiliti tanah yang sangat rapuh (Kritikal), masing-masing cerun berhampiran Kolej Keris Mas, cerun di Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat, cerun berhampiran Pusat Kesihatan dan cerun di Kolej Ibu Zain. Titik persampelan yang mencatatkan tahap erodibiliti tanah dalam kategori Tinggi pula adalah cerun berhampiran Danau Golf Club (P4), cerun berhampiran Kolej Pendeta Za'ba (P7) dan cerun di Kolej Rahim Kajai (P10). Kombinasi tekstur tanah pasir dan kelodak di semua titik-titik persampelan tersebut mewakili lebih daripada 90 peratus komposisi tanah rapuh. Foto 1 menunjukkan beberapa contoh gambaran runtutan tanah yang berlaku di sekitar kampus UKM, Bangi.

Jadual 2. Komposisi tanah berdasarkan ujian pipet

Titik sampel	% pasir	% liat	% kelodak	Jenis tekstur tanah
P1	45.17	31.95	22.88	Loam liat berpasir
P2	43.97	15.26	40.77	Liat
P3	47.09	3.79	49.12	Loam berpasir
P4	41.08	6.57	52.35	Loam berkelodak
P5	51.64	15.47	32.89	Liat
P6	48.46	5.54	50.29	Loam berpasir
P7	68.01	8.50	23.49	Loam berpasir
P8	43.38	5.59	51.03	Loam berkelodak
P9	45.24	5.22	49.54	Loam berkelodak
P10	50.26	9.23	40.51	Liat
P11	50.69	28.14	21.17	Loam liat berpasir
P12	59.00	14.69	26.31	Loam berpasir

Jadual 3. Tahap kebolehruntuhan tanah di 12 titik persampelan

Titik sampel	Nilai kiraan berdasarkan Skala ROM	Kategori tahap kebolehruntuhan tanah
P1	1.06	Rendah
P2	2.78	Sederhana
P3	12.69	Kritikal
P4	7.11	Tinggi
P5	2.73	Sederhana
P6	8.91	Kritikal
P7	5.38	Tinggi
P8	8.44	Kritikal
P9	9.09	Kritikal
P10	4.92	Tinggi
P11	1.28	Rendah
P12	2.90	Sederhana

Dapatan tahap kebolehruntuhan tanah ini juga menunjukkan 10 daripada 12 titik persampelan tanah berpotensi untuk berlaku kejadian runtutan tanah pada masa hadapan. Walaupun persampelan tanah dilakukan berhampiran kelompok runtutan tanah namun ujian tekstur tanah ini dapat digunakan bagi mewakili ciri-ciri fizikal tanah yang sama bagi kawasan sekitar berhampiran dengan tapak runtutan tanah. Ini bermakna, potensi untuk berlaku runtutan tanah di kawasan yang berhampiran adalah tinggi.



Foto 1. *Gambaran beberapa runtutan tanah di sekitar kampus UKM, Bangi*

(iv) Kaitan antara tahap kebolehruntuhan tanah dengan ciri lain

Selain daripada ciri-ciri fizikal tanah, keupayaan sesuatu cerun berkemungkinan mengalami kejadian tanah runtuh juga banyak bergantung kepada ciri-ciri fizikal yang lain. Ini antara lain melibatkan faktor LS di dalam rumus USLE, iaitu kepanjangan (L) dan kecuraman cerun (S), kadar kelembapan tanah dan peratusan litupan tumbuhan di permukaan cerun.

Jika didasarkan pada maklumat L dan S dalam Jadual 4, secara deskriptif, didapati faktor S tidak signifikan dalam mempengaruhi kejadian runtutan tanah di kampus UKM, Bangi. Cerun-cerun bagi titik persampelan yang mempunyai tahap kebolehruntuhan tanah yang tinggi, sederhana dan rendah didapati lebih curam berbanding dengan kecuraman cerun bagi titik persampelan yang mempunyai tahap kebolehruntuhan tanah yang kritikal. Secara umumnya, cerun yang curam lebih berpotensi mengalami proses pergerakan jisim yang boleh menyebabkan kejadian tanah runtuh. Walau bagaimanapun, dapatan kajian ini menunjukkan situasi sebaliknya. Ini mungkin berkait dengan latar semua cerun tersebut yang merupakan cerun potong dan memberi gambaran bahawa aspek kecuraman cerun tidak signifikan, sekurang-kurangnya bagi kes kajian ini. Namun bagi faktor L , boleh dianggap signifikan dalam mempengaruhi tahap kebolehruntuhan tanah di kampus UKM, Bangi.

Jadual 4. Ciri-ciri fizikal lain bagi tapak persampelan

Titik sampel	Panjang (m)	Kecuraman (°)	Kelembapan tanah (%)	Anggaran % litupan bumi	Mitigasi
<i>Kritikal</i>					
P3	8.0	25.8	20	30	Tiada
P6	12.9	29.0	30	80	Tiada
P8	18.4	22.6	40	50	Tiada
P9	3.0	25.0	20	10	Tiada
Min	10.57	25.6	27.5	42.5	-
<i>Tinggi</i>					
P4	15.0	31.9	30	100	Tiada
P7	11.7	36.9	30	90	Tiada
P10	5.5	24.7	40	30	Dinding batu groin bersimen
Min	10.73	31.12	33.3	73.3	-
<i>Sederhana</i>					
P2	11.1	34.2	23	70	Tiada
P5	32.8	38.1	60	100	Dinding konkrit
P12	12.9	24.1	30	70	Tiada
Min	18.93	32.13	37.7	80	-
<i>Rendah</i>					
P1	4.9	28.1	32	30	Dinding ketulan groin
P11	5.9	32.2	40	100	Teres
Min	5.40	30.15	36.0	65	-

Kadar kelembapan tanah dan litupan tumbuhan pada permukaan cerun juga boleh dianggap signifikan dalam mempengaruhi tahap kebolehruntuhan tanah. Didapati nilai purata kadar kelembapan tanah bagi titik-titik persampelan yang berada dalam kategori tahap kebolehruntuhan yang kritikal adalah yang paling rendah. Ini menunjukkan kekurangan kandungan air mengurangkan daya lekit dan melemahkan ikatan kumin-kumin tanah dan memudahkan pergerakan jisim. Bagi litupan tumbuhan pula, tiga daripada titik persampelan dalam kategori tahap kebolehruntuhan tanah kritikal mempunyai peratus litupan tumbuhan yang kurang, kecuali titik persampelan P6. Kekurangan litupan tumbuhan memudahkan tindakan air hujan dan air larian bertindak ke atas permukaan tanah akibat kekurangan proses infiltrasi. Jumlah air larian yang banyak di permukaan tanah boleh menambah tekanan dan menjadi beban kepada kestabilan ikatan tanah di bahagian bawah permukaan cerun. Ini boleh menjadi faktor mempercepatkan kejadian runtuh tanah.

Ketika persampelan tanah dilakukan, didapati hanya empat sahaja tapak runtuh tanah yang telah dimitigasi (Foto 2). Kaedah mitigasi yang digunakan adalah pelbagai, dan didapati lebih terfokus kepada bahagian kaki cerun runtuh tanah (Foto 2(a), (b) dan (d)). Dengan kata lain, kaedah mitigasi sedemikian bertujuan untuk menahan beban di bahagian atas dan menghalang limpahan runtuh tanah keluar daripada kawasan runtuh. Kaedah membiarkan sisa runtuh tanah tanpa membaik-pulihnya di kedudukan asal ternyata bukan pendekatan yang bijak. Sebagaimana yang dapat diperhatikan di Foto 2(d), dinding konkrit yang digunakan tidak berupaya untuk menahan sisa runtuh tanah yang dibiarkan selepas kejadian runtuh tanah. Ruang kosong yang wujud antara sisa runtuh dengan tanah asal serta kerosakan pada struktur tanah dan tanah menggalak pengumpulan air apabila berlaku hujan. Secara tidak langsung meningkatkan beban yang terpaksa ditanggung oleh dinding konkrit menyebabkan ketahanan dinding konkrit menjadi semakin lemah. Walau bagaimanapun, lokasi runtuh tanah ini telah dibaikpulih semula dengan menggunakan kaedah teres.



Foto 2. Kaedah mitigasi yang digunakan di cerun bermasalah di kampus UKM, Bangi

Penggunaan teres dalam membaik-pulih cerun runtuh tanah kelihatan lebih bersifat semulajadi. Kaedah ini selalunya disertai dengan penanaman rumput dan sistem saluran air di bahagian permukaan cerun yang disalurkan ke dalam sistem perparitan terhampir. Ini secara tidak langsung menggalak infiltrasi dan memudahkan pergerakan air larian permukaan ke sistem saluran air. Malah daripada segi nilai estetika, landskap teres berkontur dengan tumbuhan hijau lebih menarik dan berupaya mengikat kumin-kumin tanah pada jangka masa panjang melalui tindakan akar tumbuh-tumbuhan yang ditanam di teres cerun.

Kesimpulan

Artikel ini telah melaporkan dapatan kajian mengenai tahap kebolehruntuhan tanah bagi 12 cerun bermasalah di sekitar kampus UKM, Bangi. Hasil yang diperolehi jelas menunjukkan tahap kebolehruntuhan tanah yang sangat berpotensi terhasilnya proses pergerakan jisim dan seterusnya mampu mewujudkan kejadian tanah runtuh di kawasan sekitar tapak runtuh sedia ada. Komposisi tanah bagi kebanyakan cerun di sekitar kampus UKM, Bangi adalah jelas menjurus kepada tekstur pasir dan kelodak, iaitu gabungan komposisi yang mempunyai ikatan kumin tanah yang lemah. Kehadiran hujan bermagnitud tinggi mungkin boleh mendorong kepada kejadian runtuh tanah sekiranya langkah mitigasi sedia ada di kawasan berhampiran tapak runtuh serta kawasan berhampiran dengannya tidak mesra alam dan tidak mengambilkira keupayaan tahap kebolehruntuhan tanah kawasan sekitarnya.

Walaupun kajian ini hanya terfokus kepada cerun-cerun bermasalah sahaja namun hasil yang dilaporkan di dalam artikel ini perlu diberi perhatian. Ini memandangkan, ketika pemerhatian lapangan dilakukan, terdapat beberapa kejadian runtuh berskala kecil di cerun-cerun berhampiran kediaman pelajar di Kolej Pendeta Za'ba. Situasi begini tentu sekali berkait dengan tahap kebolehruntuhan tanah yang berpotensi menghasilkan kejadian tanah runtuh yang sukar dijangkakan daripada segi magnitudnya di masa hadapan. Walaupun setakat kini belum ada satupun kejadian runtuh tanah di kampus UKM, Bangi melibatkan korban jiwa namun langkah pemantauan ke atas cerun-cerun bermasalah dan berpotensi harus dilakukan secara berkala terutama bagi cerun-cerun berhampiran kawasan kediaman pelajar. Serentak dengan pemantauan

berkala, petunjuk-petunjuk awal terhadap potensi pergerakan jisim dan menjurus kepada tanah runtuh harus dikenalpasti.

Memandangkan kajian ini hanya menumpu kepada beberapa ciri fizikal tanah sahaja, kajian lebih terperinci perlu dilakukan. Ini antara lain perlu melibatkan aspek erosiviti, impak topografi serta litupan bumi. Ciri-ciri fizikal tanah lain seperti keporosan, kadar infiltrasi tanah dan struktur tanah juga perlu dikaji secara terperinci. Semua ciri tersebut mampu mempengaruhi kestabilan cerun dan kelemahan atau kekurangan salah satu daripadanya mungkin berpotensi menyebabkan kejadian tanah runtuh.

Rujukan

- Briggs D (1977) *Sources and methods in Geography: Soils*. Butterworths, London.
- Bujang BK Huat, Faisal Hj. Ali, David H Baker, Harwant Singh, Husaini Omar (2008) *Landslide in Malaysia: Occurrences, assessment, analyses and remediation*. Universiti Putra Malaysia, Serdang
- Cornforth DH (2005) *Landslides in practice: Investigation, analysis and remedial/preventative options in soils*. John Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- Cruden DM (1991) A simple definition of a landslide. *Bulletin of International Association of Engineering Geology* **43**, 27-29.
- Harwant Singh, Bujang BK Huat, Suhaimi Jamaludin (2008) Slope assessment systems: A review and evaluation of current techniques used for cut slopes in the mountainous terrain of West Malaysia. *EJGE* **13** (Bundle E).
- Ibrahim Komoo (1984) Aspek geologi kejuruteraan bahan bumi di kawasan Bangi, Selangor. *Ilmu Alam* **12 & 13**, 41-54.
- Ibrahim Komoo (1985/86) Pengelasan kegagalan cerun di Malaysia. *Ilmu Alam* **14 & 15**, 47-58.
- Ibrahim Komoo (1987) Survei kegagalan cerun di kawasan Selangor. *Sains Malaysiana* **16** (1), 1-14.
- Mohamad Rasik Muda, Ibrahim Komoo (1984) Peta kestabilan cerun kawasan Bangi, Selangor. *Sains Malaysiana* **13** (1), 9-20.
- Othman Yaacob, Shamsuddin Yusop (1982) *Sains tanah*. DBP, Kuala Lumpur.
- Roslan Zainal Abidin, Badiah Sujak, Mohd Shafee Harun, Yang Emirza-Ain Mat Aris, Wan Fatmasuriati Yahya, Wan Nur Shakirin Wan Mansor (2007) Kajian tahap kebolehruntuhan tanah dan kebolehakisan hujan di Sungai Keniam, Taman Negara Pahang. *Proceedings of Seminar Biodiversiti Kebangsaan*, 183-198. Jabatan Perhilitan Malaysia.
- Roslan Zainal Abidin, Zulkifli Abu Hassan (2005) 'ROM' scale for forecasting erosion induced landslide risk on hilly terrain. In: Sassa K, Fukuoka H, Wang F, Wang G (Eds) *Landslides: Risk analysis and sustainable disaster management*, 197-202. Springer, Berlin.
- Suhaimi Jamaludin, Bujang BK Huat, Husaini Omar (2006) Evaluation and development of cut-slope assessment systems for Peninsular Malaysia in predicting landslides in granitic formation. *Jurnal Teknologi* **44** (B), 31-46.
- Ting WH (1984) Stability of slopes in Malaysia. In: *Proceedings Symposium on Geotechnical Aspects of Mass and Material Transportation*, 119-128. Bangkok.
- Tjia HD (1972) *Geologi Kawasan Bangi*. Jabatan Geologi-UKM, Bangi.
- Wong IFT (1970) *Reconnaissance soil survey of Selangor*. Ministry of Agriculture and Lands, Kuala Lumpur.